

정상아동에서 샌더를 사용하여 상지운동을 할 때의 생리학적 소비지수³⁾

이향숙*, 김봉옥**, 조강희**, 이태용***

*충남대학교병원 재활의학과 작업치료실

**충남대학교 의과대학 재활의학교실

***충남대학교 의과대학 예방의학교실

Abstract

Physiological Cost Index in Healthy Children During the Exercise With a Sander

Lee, Hyang-Sook*, M.S., K.O.T.R., Kim, Bong-Ok**, M.D., Ph.D.,

Cho, Kang-Hee**, M.D., Ph.D., Lee, Tae-Yong***, M.D., Ph.D.

*Dept. of Occupational Therapy, Chungnam National University Hospital

**Dept. of Rehabilitation Medicine, College of Medicine, Chungnam National
University

***Dept. of Prevention Medicine, College of Medicine, Chungnam National University

Physiological Cost Index (PCI) of walking has been widely used to predict oxygen consumption in healthy subjects or patients. The purposes of this study were to evaluate the predictability of physiological cost index of upper extremity exercise with a sander for the amount of exercise and cardiac function and to find out most efficient speed of exercise. Upper extremity exercise was conducted in 67 healthy children (age 4 -12) for 2 minutes with a sander in two different speeds, such as self selected comfortable and self selected fast speeds. Speed of sander was calculated, and heart rate were measured before and immediately after the exercise. Physiological Cost Index (PCI) of upper extremity exercise was calculated for statistical analysis.

The result were as follows;

1. Comfortable and fast speeds of the sander went up according to the increase of age, sander PCI during exercise by it, decreased as the age increased with significant difference in each group ($p=0.00$). The heart rate change during exercising by it, there was no significant difference.
2. The heart rate change during the exercise by sander increased as the speed of sander increased. Linear regression equation between the heart rate change during the exercise by sander and the speed of sander were 'Y (the heart rate change by sander) = $0.332X$ (the speed of sander) + 12.731 ' ($R^2= 0.154$). Stepwise regression showed the speed of sander affected the change of heart rate positively, and the age affected negatively ($R^2= 0.242$, $p = 0.00$).
3. The PCI during the exercise by sander decreased as the speed of sander increased. Linear regression equation between the PCI during the exercise by the sander and the speed of sander were 'Y (the PCI by sander) = $-0.00495X$ (the speed of sander) + 2.091 ' ($R^2= 0.267$), and statistic significant was recognized ($p = 0.00$).
4. The speed of exercise by sander it increased as the age increased. Linear regression equation between the speed of the sander and the age were 'Y (the speed of sander) = $2.481X$ (the age) - 0.893 ' ($R^2= 0.452$), and statistic significant was recognized ($p = 0.00$).
5. The reliability analysis for the method of examining each PCI, showed high reliability coefficients and the value of alpha was 0.9337.

In conclusion, PCI of the upper extremity exercise with a sander could be thought to predict the energy consumption from the speed of sander as there was a linear relationship between the speed of sander exercise and heart rate change with exercise. PCI of the upper extremity exercise with the self selected fast speed was most efficient.

Further study with oxygen consumption analysis is recommended to apply PCI in upper extremities in patients with different pathologies in motion.

Key Words : Physiological Cost Index (PCI)

I. 서 론

운동은 가장 흔한 생리적 자극의 하나로 그 정도에 따라 심폐기능에 반응을 나타낸다. 이 반응의 결

과를 측정하여 환자의 기능적 능력을 평가할 수 있으며, 질환의 진단, 예후 및 정도를 예측하고, 치료의 효과를 평가할 수 있다. 운동 처방을 할 때 환자의 신체적 능력을 먼저 평가하여야 하므로 여러 질

환을 가진 환자가 활동하는 동안의 에너지 소모에 대한 연구가 많이 이루어져 왔다.

운동 강도에 따른 에너지 소모량의 측정은 산소 소모율(oxygen consumption rate, VO_2)로 표현되는데 이는 호기의 공기에서 측정하며 전신의 산소소모를 반영한다. 산소소모는 보행시 에너지소모를 평가하는데 이용되지만 기구 장착 등의 어려움으로 임상영역에서는 이용하기에 어려움이 많다. 반면 심박수는 비교적 쉽게 측정이 가능한 변수(parameter)로서 최대 이하의 운동강도(steady-state submaximal work)에서는 에너지 소모를 쉽게 예측할 수 있다(McCardle 등, 1976). Paulsen과 Asmussen(1963) 등이 심박수와 산소 소모를 비교하여 선형관계가 있음을 보고한 이후 많은 연구를 통하여 산소소모와 심박수간의 선형관계를 보고하였다(김봉옥 등, 1996; 윤승호 등, 1994; Boyd 등 1999; Vokac 등, 1975; Rose 등, 1991).

생리학적 소비지수(Physiological Cost Index, PCI 또는 Energy Expenditure Index, EEI)는 측정이 쉬운 변수인 심박수와 보행속도를 이용하여 에너지 소모를 보다 쉽게 구할 수 있는 방법이다. 생리학적 소비지수는 보행시 심박수에서 안정시 심박수를 뺀 값을 보행속도로 나눈 값으로 구할 수 있다. 심박수와 보행속도를 이용한 에너지소모의 측정은 정상성인과 척수손상, 절단환자, 뇌졸중환자 등에서 이용하고 있으며 정상아동과 장애아동에서도 보행에 따른 산소소모와 심박수와의 선형관계를 보고(Rose 등, 1990, 1991)하여 이것이 운동프로그램에 대한 적합성과 적응성을 결정하는 가치 있는 척도라 할 수 있다.

경직형 뇌성마비아는 비장애아보다 많은 에너지를 소모한다(Rose 등, 1989, 1990). 에너지 소모는 장애(disability)의 정도를 정하기 위하여 환자를 평가하고 치료의 평가를 하는데 사용된다. 그 동안 뇌성마비아의 에너지 소모량에 대한 연구는 주로 보

행중의 에너지 소모량에 대한 연구였다. 보행동안의 에너지 소모량은 보행장애를 가진 환자를 평가할 때, 이동 보조기구나 물리치료, 수술 등 치료적 중재의 효과를 객관적으로 평가할 때 도움을 준다. 하지만 보행을 통해 평가할 수 있는 뇌성마비아는 매우 제한적이다.

보행이 어려운 환자의 평가를 위하여 상지의 운동량을 이용한 에너지 소모량을 구하기 위한 연구들이 있다. 이 연구들에서는 arm-crank exercise를 이용하거나(Sawka, 1983) 상지운동 측력계(upper extremity ergometer) 등을 사용하였지만(박호준 등, 2000; 한태륜 등, 1994) 뇌성마비아나 재활치료의 중증환자들은 근력이 약하거나 자전거에 앉는 자세를 유지하기 어려워 상지 운동 측력계를 사용한 평가가 어렵다.

뇌성마비, 편마비, 사지마비 등의 다양한 질환을 가지고 재활치료를 받는 환자가 아직 보행이 어려운 치료기간 동안에, 치료적 운동량을 조절해줄 객관적인 에너지 소모에 대한 기초 자료가 절실히 필요하다. 또한 장기적인 치료가 필요한 뇌성마비아의 치료효과와 진전정도에 대한 객관적이면서 간편한 평가가 필요하다.

이에 본 논문에서는 작업치료실에서 쉽게 이용할 수 있고, 다양한 환자들이 상지의 움직임으로 일정한 일률(kilogram meter/minute)하에서 단위시간당 이동 속도를 구하여 운동량을 계산할 수 있는 샌더 운동을 편안한 속도와 빠른 속도로 시행하여 정상아동의 에너지 소모를 구하고자 하였다. 샌더 속도와 샌더 운동 전후의 심박수 변화와의 관계를 통해 운동량과 심기능과의 관계를 예측할 수 있는지 알아보고, 편안한 샌더 PCI와 빠른 샌더 PCI를 비교하여 보다 효율적으로 에너지 소모를 측정할 수 있는 속도를 얻고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상 및 기간

연구대상은 부모의 동의하에 지원한 신경근골격계 및 심폐계의 과거병력이 없는 만4세에서 만12세의 아동이었다. 연구대상은 나이에 따라 3군으로 나누었다. 제 1군은 만4세에서 만6세의 아동으로 23명, 제 2군은 만7세에서 만9세의 아동으로 22명, 제 3군은 만10세에서 만12세의 아동으로 22명이었다.

연구기간은 1999년 6월에서 9월까지 예비연구를 통하여 문제점을 수정 보완하고 1999년 10월부터 2000년 3월까지 본 연구를 실시하였다.

2. 연구 방법 및 내용

자료수집은 각각 대상자에게 연구방법에 대해 설명하고 아동의 키, 몸무게, 팔길이(견봉의 뒤쪽에서 요골 경상돌기까지), 다리길이(전상장골극에서 발목의 내측 복사뼈까지)를 측정하였다. 심박수 측정 방법은 심박수 측정기(Pacer heart rate monitor, POLAR®, Polary Electro Oy, Finland)를 사용하여 측정하였다. 심박수 측정기는 신호전달자(coded transmitter), 탄력끈(elastic strap) 그리고 손목수신기(wrist receiver)로 구성되어 있으며 착용방법은 상품명이 앞으로 오게 하여 가슴 아래쪽으로 둘러 고정시키고, 손목에 보통시계를 착용할 때와 동일하게 손목수신기를 착용하였다.

실험의 순서는 먼저 안정시의 심박수를 측정하고 아동이 스스로 선택한 편안한 속도로 샌더를 사용하여 상지운동을 하고 휴식시간을 가진 후 아동이 선택한 빠른 속도로 샌더운동을 하게 하였다. 휴식시간은 안정시 심박수의 ± 5 beats/min 이내로 돌아올 때까지 쉬도록 하였다.

안정시의 심박수는 앉은 자세로 조용히 5분 쉰 후 심박수를 구하였다. 모든 심박수는 마지막 15초 동안에 3회 측정하여 평균값을 사용하였다.

샌더는 스스로 선택한 편안한 속도로 2분간 왕복

으로 샌더를 움직인 뒤 이동 거리와 심박수를 측정하고 샌더의 속도와 편안한 샌더 PCI를 계산하여 기록하였다. 샌더 운동을 할 때 저항을 일정하게 하기 위해 바닥의 사포는 제거하고, 샌더를 움직일 때 상체의 움직임을 제한해 주기 위하여 상체 고정벨트를 이용하여 의자의 등받이에 대상자가 허리를 바로 펴고 고관절 90°굴곡된 상태로 고정하여 주었다. 견관절 90°굴곡정도의 범위 내에서 한번 대상자가 편안한 상태로 샌더를 움직이도록 하고 각 대상자가 이동할 수 있는 거리를 측정하여 위치를 정하고 실험 시 그 지점까지 오도록 설명해 주었다. 샌더의 이동방법을 알려주고 샌더를 아동이 선택한 속도로 천천히, 보통으로, 빠르게 움직여 보게 한 후 먼저 보통의 편안한 속도로 움직이게 하였다. 샌더를 움직일 때 팔의 움직임(견관절 90°굴곡 - 신전 - 외전, 주관절 90°굴곡 - 신전, 수근관절 신전, 손잡이 잡기)만을 사용하였다.

휴식시간을 가진 후 대상자가 선택한 빠른 속도로 2분간 위의 방법으로 샌더 운동을 하고 속도와 빠른 샌더 후 심박수를 기록하고 빠른 샌더 PCI를 구하였다.

샌더 운동에 대한 신뢰도(reliability)는 4명의 대상자를 선정하여 3개월이 지난 후 재검사를 실시하고, 두 개의 독립적인 검사를 함께 비교하였다.

3. 용어의 조작적 정의

본 연구를 위하여 조작적 정의를 내린 용어의 설명은 다음과 같다.

- 1) 편안한 샌더 PCI: 대상자가 선택한 보통속도로 2분간 샌더를 이동한 후 샌더 후 측정된 심박수에서 안정시의 심박수를 뺀 값을 샌더 속도로 나눈 값을 나타낸다.

편안한 샌더 PCI(beats/min)

$$= \frac{\text{편안한 속도로 샌더 운동 후 심박수} - \text{안정시 심박수(beats/min)}}{\text{편안한 샌더 속도(m/min)}}$$

- 2) 빠른 샌더 PCI: 대상자가 선택한 빠른 속도로 2분간 샌더를 이동한 후 빠른 샌더 후 측정된 심박수에서 안정시의 심박수를 뺀 값을 빠른 샌더 속도로 나눈 값을 나타낸다.

빠른 샌더 PCI(beats/min)

$$= \frac{\text{빠른 속도로 샌더 운동 후 심박수} - \text{안정시 심박수 (beats/min)}}{\text{빠른 샌더 속도 (m/min)}}$$

- 3) 샌더(sander)는 샌더와 샌더의 이동틀로 구성되어 있다. 샌더는 상지의 대 동작 움직임을 위한 치료 기구이며 일반적으로 작업치료실에서 다양한 환자의 양쪽 상지움직임의 강화를 위하여 흔히 사용되는 치료기구이다. 샌더는 일정한 일률(kilogram meter/minute)하에서 단위시간당 이동 속도를 구할 수 있다.

4. 분석 방법

수집된 자료에서 각 변수별 분포는 각 군으로 나누어 평균과 표준편차를 구하였고, 대상자의 일반적인 특성의 차이, 편안한 샌더와 빠른 샌더의 속도,

심박수 변화 그리고 PCI는 ANOVA를 통해 각 군의 차이를 비교하였다. 샌더 속도에 의한 샌더 작업 전후의 심박수 변화, 샌더 PCI 변화 그리고 연령과의 관계를 알아보기 위하여 각각 선형회귀분석(linear regression analysis)으로 분석하였으며 샌더 작업 전후 심박수 변화에 영향을 주는 요인을 알아보기 위하여 단계별 다중회귀분석(stepwise multiple linear regression analysis)으로 분석하였다. 검사방법에 대한 신뢰도 검사는 test-retest를 통하여 reliability analysis를 사용하였고 통계분석은 SPSS/PC 통계 프로그램을 이용하였다.

III. 연구 결과

1. 연구대상자의 일반적인 특성

대상자 67명의 평균 나이는 8.14±2.35세이며 제1군은 5.52±0.88세, 제2군은 8.16±0.72세, 제3군은 10.86±0.81세였다. 성별로는 남자 36명, 여자 31명이었다(표 1).

표 1. 대상자의 일반적인 특성

(평균±표준편차)

	제 1군	제 2군	제 3군	계
나이(years)*	5.52±0.88	8.16±0.72	10.86±0.81	8.14±2.35
키(cm)*	112.22±7.54	127±7.65	143.89±6.74	127.47±14.93
체중(kg)*	21.67±5.44	29.32±5.81	40.27±6.04	30.29±9.57
팔길이(cm)*	35.04±3.18	39.70±2.77	46.95±2.66	40.48±5.70
다리길이(cm)*	56 ±5.35	65.45±4.54	77.73±3.97	66.24±10.09
휴식시심박수(beats/min)*	99.09±7.57	90.5±8.92	87.55±6.91	92.48±9.18
성별(male/female)	13/10	14/8	9/13	36/31

제 1군: 4~6세, 제 2군: 7~9세, 제 3군: 10~12세

* : p<0.01, 각 변수 내에서 군간의 ANOVA

성별, 나이, 체중, 키, 다리길이, 팔길이가 각 군간에 유의한 차이가 있었으며($p<0.01$) 나이가 증가함에 따라 각 요인들이 증가하였다. 안정시 심박수는 각 군간에 유의한 차이가 있었으며($p<0.01$) 나이가 증가함에 따라 감소하였다. 성별 구성비에서는 각 군간에 유의한 차이가 없었다.

2. 편안한 샌더 속도, 샌더 전후 심박수 변화, 편안한 샌더 PCI의 각 군간의 비교

편안한 샌더의 평균속도는 15.67 ± 7.4 m/min이었다. 제1, 제2, 제3군은 각각 10.51 ± 5.28 , 16.17 ± 6.08 , 20.78 ± 8.20 m/min으로 연령이 증가할수록 유의한 증가를 보였다($p = 0.00$). 편안한 샌더전후 심박수의 평균변화는 16.52 ± 6.33 beats/min이었다. 제1, 제2, 제3군은 각각 17.09 ± 5.56 , 17.32 ± 8.38 , 15.14 ± 4.53 beats/min으로 연령이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으나 통계학적으로 유의한 차이는 없었다. 편안한 샌더의 평균 PCI는 1.32 ± 0.71 beats/min이었다. 제1, 제2, 제3군은 각각 1.93 ± 0.69 , 1.16 ± 0.57 , 0.86 ± 0.23 beats/min으로 연령이 증가함에 따라 유의

하게 감소하였다($p=0.00$)(표 2).

3. 빠른 샌더 속도, 빠른 샌더 전후 심박수의 변화, 빠른 샌더 PCI의 각 군간의 비교

빠른 샌더의 평균속도는 22.94 ± 8.26 m/min이었다. 제1, 제2, 제3군은 각각 15.15 ± 4.68 , 23.43 ± 6.93 , 30.61 ± 3.9 m/min으로 연령이 증가할수록 유의한 증가를 보였다($p=0.00$). 빠른 샌더 전후 심박수의 평균 변화는 21.75 ± 7.3 beats/min이었다. 제1, 제2, 제3군은 각각 21.39 ± 5.59 , 21.73 ± 9.63 , 22.14 ± 6.3 beats/min으로 각 군간의 유의한 차이가 없었다. 빠른 샌더 PCI의 평균은 1.08 ± 0.55 beats/min이었다. 제1, 제2, 제3군은 각각 1.54 ± 0.59 , 0.96 ± 0.4 , 0.73 ± 0.2 beats/min으로 연령이 증가함에 따라 유의하게 감소하였다($p=0.00$)(표 3).

4. 샌더 속도에 따른 샌더 운동 전후 심박수의 변화

샌더 운동전후의 심박수 변화는 샌더의 이동속도

표 2. 편안한 샌더 속도, 샌더 전후 심박수 변화, 편안한 샌더 PCI (평균 $\pm$ 표준편차)

군	샌더 속도* (m/min)	Δ CSHR (beats/min)	샌더 PCI* (beats/min)
제 1군	10.51 ± 5.28	17.09 ± 5.56	1.93 ± 0.69
제 2군	16.17 ± 6.08	17.32 ± 8.38	1.16 ± 0.57
제 3군	20.78 ± 8.20	15.14 ± 4.53	0.86 ± 0.23
계	15.67 ± 7.4	16.52 ± 6.33	1.32 ± 0.71

Δ CSHR(heart rate change during comfortable sander) : 편안한 샌더운동 동안에 심박수의 변화
(편안한 샌더 후 심박수 - 휴식시 심박수)

*: $p<0.01$, 샌더속도와 샌더 PCI에서 군간의 ANOVA

표 3. 빠른 샌더 속도, 샌더 전후 심박수 변화, 빠른 샌더 PCI

(평균±표준편차)

군	빠른 샌더 속도* (m/min)	ΔFSHR (beats/min)	빠른 샌더 PCI* (beats/min)
제1군	15.15±4.68	21.39±5.59	1.54±0.59
제 2군	23.43±6.93	21.73±9.63	0.96±0.4
제 3군	30.61±3.9	22.14±6.30	0.73±0.2
계	22.94±8.26	21.75±7.30	1.08±0.55

ΔFSHR(heart rate change during fast sander)

: 빠른 샌더운동 동안에 심박수의 변화 (빠른 샌더 후 심박수 - 휴식시 심박수)

*: $p < 0.01$, 빠른 샌더속도와 빠른샌더 PCI에서의 군간의 ANOVA

가 증가함에 따라 증가하였다. 샌더 운동전후에 따른 심박수의 변화와 샌더 이동속도의 단순회귀식은 'Y(심박수의 변화) = 0.332X(샌더이동속도) + 12.731'이고 설명력을 나타내는 R^2 값은 0.154이었다($p=0.00$)(그림 1). 샌더 운동전후 심박수의 변화에 영향을 주는 요인들의 단계적 다중회귀 분석을 한 결과 샌더 이동속도는 양의 관계로 영향을 주고 연령은 음의 관계로 영향을 주는 것으로 나타났

다(표 4). 이는 24.2%의 설명력을 지닌다.

5. 샌더 속도에 따른 샌더 PCI의 변화

샌더 PCI는 샌더 속도가 증가함에 따라 감소하였다. 샌더 속도에 따른 샌더 PCI의 단순회귀식은 'Y(샌더 PCI) = -0.00495X(샌더 이동속도) + 2.091' 이고 설명력을 나타내는 R^2 값은 0.267이었

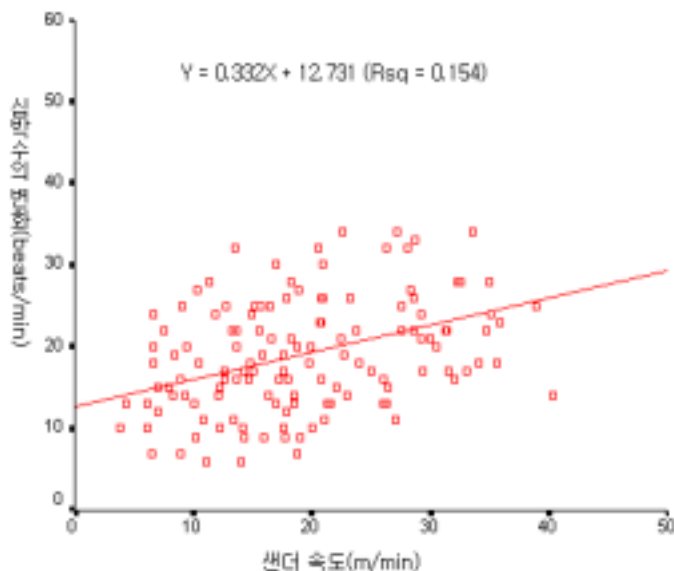


그림 1. 샌더 속도와 샌더 운동전후에 따른 심박수 변화의 단순회귀식

표 4. 샌더 운동전후 심박수의 변화에 영향을 주는 요인들의 단계적 다중회귀 분석

변수	B	S.E	Beta	p-value
샌더속도	0.558	0.087	0.661	0.00
나이	-1.242	0.32	-0.399	0.00
(constant)	18.475	2.008		0.00

$R^2=0.242$

다($p=0.00$)(그림 2).

IV. 고 찰

6. 샌더 속도와 연령과의 관계

샌더 속도는 대상자의 연령이 증가함에 따라 증가하였다. 연령에 따른 샌더 이동속도의 단순회귀식은 'Y(샌더의 이동속도) = $2.481X(\text{연령}) - 0.893$ '이고 설명력을 나타내는 R^2 값은 0.452이었다($p=0.00$)(그림 3).

실험실에서 운동의 강도에 따른 에너지 소모는 호기시의 산소를 측정하여 산소소모율로 나타낸다. 이는 정확하게 평가되지만 기구가 고가이고 기구장착의 어려움 등으로 임상적으로 에너지 소모를 측정하는데 사용하기는 어렵다. 반면에 심박수는 어느 장소에서나 쉽게 측정할 수 있으며 이는 이전의 연구에서 성인, 아동, 장애아동의 에너지 소모에서 신뢰

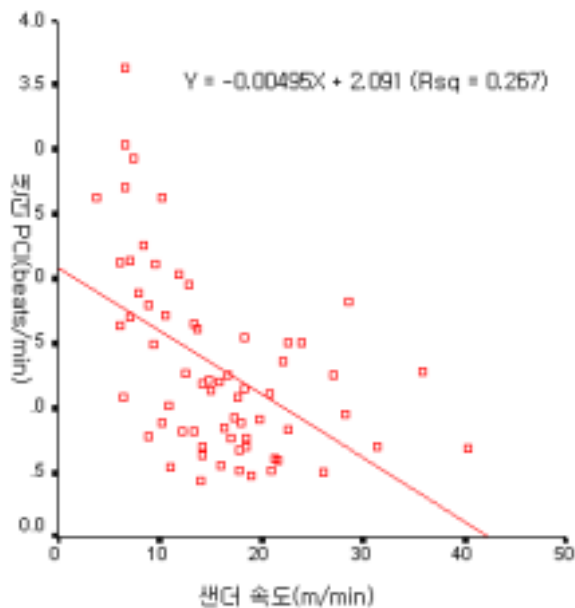


그림 2. 샌더 속도에 따른 샌더 PCI의 단순 회귀식

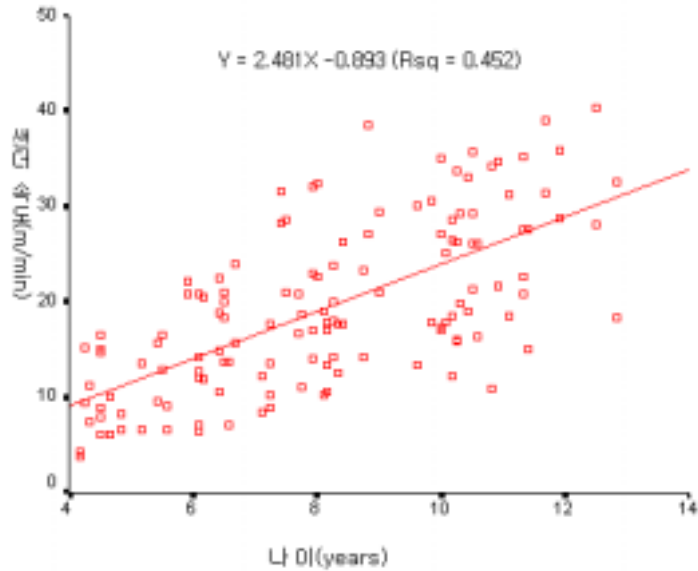


그림 3. 연령에 따른 샌더 이동속도의 단순회귀식

성을 보여주었다 (김봉옥 등, 1996; 윤승호 등, 1994; Boyd 등 1999 ; Rose 등, 1991; Vokac 등, 1975)

정상성인의 트레드밀 검사를 통하여 심박수와 산소소모량과의 회귀방정식을 구하여 심박수 만으로 간단히 산소소모량을 산출할 수 있게 되었고(윤승호 등, 1994) 트레드밀 속도와 등속성 상하지 운동 측력계의 일률만으로도 산소소모량, 체중당 산소소모량, 주관적인 척도인 Rating of Percieved Exertion(RPE)척도 및 심박수를 예측할 수 있는 의미있는 회귀직선식을 구하였다(한태륜 등, 1994).

정상아동(6세-12세)과 청소년(13세-19세)의 보행에 관한 에너지소모에서 단위거리당 보행에서 산소소모는 청소년 대상자에서 보다 아동에서 높게 나타났다으며 이는 심박수와 평행하게 나타났다(Waters 등, 1983). 아동의 분당 심박수는 청소년 대상자의 평균값보다 유의하게 높게 나타났다. Rose(1991) 등은 산소소모량과 단위보행 거리당 심박수를 뇌성마비아와 정상 소아에서 트레드밀(treadmill) 검사를 통하여 단위보행 거리당 산소소모량과 심박수에

의한 도표곡선(curve)이 유사함을 보고하였다.

생리학적 소비지수(Physiological Cost Index, PCI 또는 Energy Expenditure Index, EEI)는 측정이 쉬운 변수인 심박수와 보행속도를 이용하여 에너지 소모를 보다 쉽게 구할 수 있으며 이는 보행시의 심박수에서 안정시의 심박수를 뺀 값을 보행속도로 나눈 값으로 구할 수 있다. 이 PCI는 다양한 질환에서 에너지소모를 구하기 위하여 이용하였다. 정상인과 편마비 환자에서 보행 중 에너지 소모와 생리학적 소비지수(PCI)간에 유의한 상관관계를 보여 생리학적 소비지수(PCI)가 운동량과 심 기능과의 관계를 손쉽게 예측할 수 있는 도구로 이용될 수 있음을 보고하였다(김봉옥 등, 1996). 하지마비 환자에서 사용되는 보장구의 에너지 소모를 비교하였으며(Harvey 등, 1998), 뇌성마비의 보행형태를 양쪽 네발지팡이사용과 바퀴 달린 워커사용에 따른 에너지 소모지수를 구하여 낮은 지수를 나타내는 이동 보조장구를 치료에서 고려하도록 하였다(Rose 등, 1985). 또한 수술전과 수술후의 산소 소모량을 구하여 수술후의 감소된 에너지소모량으로 수술효과

를 증명하였고(Dahlback, 1985), 수술한 18명의 경직형 양파비(spastic diplegia)의 보행의 향상을 평가할 때 생리학적 소비지수를 사용하였다(Nene 등, 1993).

보행으로 에너지 소모 평가가 어려운 환자인 경우 상지의 움직임을 이용한 운동평가방법으로 평가가 가능하고 성인인 경우 arm-crank exercise과 등속성 상지운동 측력계가 이용되고 있다. arm-crank exercise를 이용하여 최대 유산소 힘을 측정하는 방법을 제시하였고(Sawka 등, 1983), 최대 운동강도로 운동평가 방법 중에서 상지를 이용하는 방법은 최대 산소 소모량이 하지를 이용하는 것보다 39%낮으며 쉽게 피로가 오고 심장에 부담을 주는 운동방법으로 심장 질환 환자에는 적합하지 않고 하지사용이 어렵고 상지사용이 많은 환자에게 이용하도록 제안하였다(Magel 등, 1978).

등속성 상지 운동 측력계는 최대이하의 강도의 운동량에서는 상지와 하지의 운동간의 같은 산소소모량에서의 심박수의 차이는 없음을 보고하였다(한태륜 등, 1994). 또한 최대이하의 운동강도에서는 상지 운동이 하지운동과 마찬가지로 심박수와 산소소모량에 선형관계가 있음이 보고되어 있다(박호준 등, 2000 ; 한태륜 등, 1994). 편마비 환자를 대상으로 일상생활 동작 수행시 산소소모량을 측정하여 일상생활 동작과 보행시의 에너지 효율은 기능적인 회복이 진행될수록 좋아지는 것을 알 수 있었다고 하였다(김진호 등, 1995). 하지만 중증의 재활 환자나 뇌성마비아는 등속성 상지운동 측력계를 사용하여 에너지 소모를 측정하기가 어렵다. 그래서 본 연구에서는 모든 환자들이 검사하기 쉽고 속도를 정확히 계산할 수 있는 샌더 운동을 통해 보행에 따른 PCI 개념을 활용하여 샌더 PCI에 대한 조작적 정의를 내렸다. 즉 샌더후 심박수에 휴식시 심박수를 뺀 후 샌더 속도로 나눈 값으로 구할 수 있다. 정상아 5명과 뇌성마비아 5명을 대상으로 한 예비연구에서 아동이 선택한 보통의 속도(편안한 속도)로 샌더를 이

동하도록 하였으나 속도가 너무 느려서 효율적 에너지 소모 측정이 어려워 이를 보완하여 본 연구에서는 아동이 선택한 빠른 속도로 샌더를 작업하는 방법을 추가하여 상호 비교하였다. 샌더 운동은 샌더의 무게가 가볍고 스스로 선택한 속도로 움직이기 때문에 상지를 어느 정도 움직일 수 있는 근력만 있으면 검사가 가능하다. 또한 샌더 운동의 저항을 없애 운동강도를 최소화하여 샌더 속도에 따른 효율적인 에너지 소모를 구하고자 하였다. 빠른 샌더 속도에서도 스스로 선택한 빠른 속도이므로 검사중 힘들면 스스로 속도를 조절하였기 때문에 최대이하의 운동강도를 벗어나지는 않았으며 힘들어서 검사중 중단한 아동은 없었다.

대상자들의 휴식시 심박수는 나이가 증가함에 따라 감소함을 보였다. Rose(1991)의 비슷한 연령군과 비교하였을 때 본 연구의 대상자가 약간 높게 나타났다. 대상자가 심리적으로 안정 될 수 있도록 5분간 앉아서 쉬도록 하였으며 검사후 쉬는 동안 처음 측정한 휴식시 심박수보다 더 낮을 때에는 낮은 심박수를 휴식시 심박수로 하였다. 또한 대상 아동이 만4세부터 만 12세로 휴식시 심박수나 운동 후 심박수의 변화가 아동의 나이에 따라 차이가 있으므로 샌더 운동전후의 심박수의 변화를 보았다.

정상 보행시나 편마비 환자의 보행시 산소소모나 심박수에 가장 큰 영향을 미치는 인자로 보행속도가 보고되어 있고(김진호 등, 1995; Waters 등, 1988) 보행의 변수들이 나이와 성별에 많이 의존하고 산소소모율이 나이가 어릴수록 유의하게 높다고 보고되어 있다(Waters 등, 1983). 편안한 샌더 운동과 빠른 샌더 운동에서 보행과 마찬가지로 샌더 속도는 나이가 증가함에 따라 증가하였다. 샌더 운동전후의 심박수의 변화는 각 군간의 유의한 차이가 없어 샌더 PCI가 나이가 증가함에 따라 감소하는 것은 샌더의 운동속도가 영향을 많이 미치는 것을 알 수 있었다. 이는 편안한 샌더 운동과 빠른 샌더 운동의 비교에서도 나타난다. 편안한 샌더와 빠른

샌더를 비교하여 보면 속도와 심박수 변화는 빠른 샌더운동이 유의하게 높은 반면 빠른 샌더 PCI는 편안한 샌더 PCI보다 유의하게 낮았다. 이는 이동 속도와 관련되어 보이며 보행에서도 아주 낮은 보행 속도에서는 보행 PCI가 높고 속도가 증가함에 따라 감소하다가 아주 빠른 보행시에 다시 증가함을 보인다고 하였다(Rose 등, 1991).

샌더 속도에 따른 샌더운동 전후의 심박수의 변화에서 샌더 속도로 심박수의 변화를 예측할 수 있는지를 알아보기 위하여 단순 회귀분석을 한 결과 'Y(심박수의 변화) = 0.332X(샌더이동속도) + 12.731'이며 통계학적으로 유의하였다. 샌더 속도가 증가함에 따라 심박수의 변화량이 증가하고 속도와 심박수간에 선형관계가 나타나므로 샌더 운동속도로 심박수의 변화량을 예측할 수 있었다. 이 회귀직선식의 R²값이 0.154로 비교적 낮은 설명력을 보여 심박수 변화에 영향을 주는 다른 요인들을 찾기 위해 단계적 다중회귀분석을 한 결과 샌더 속도는 양의 관계로 영향을 주고 나이는 음의 관계로 영향을 주는 것으로 나타났다. 이는 아동의 샌더 운동을 통한 심박수의 변화량을 예측할 때 샌더의 이동 속도와 더불어 아동의 나이를 고려해야 함을 알 수 있다.

샌더 속도가 증가함에 따라 샌더 PCI는 감소함을 보였고 나이가 증가함에 따라 속도도 빨라졌다. 이는 보행에서도 같은 양상을 보였다. 각 PCI 검사방법에 대한 신뢰도 검사는 4명의 아동을 선택하여 3개월 간격으로 test-retest를 통하여 신뢰도 분석(reliability analysis)을 하였다. alpha값이 0.9337로 신뢰도 계수가 매우 높았으며 각 항목별 상관 행렬에서는 보행 PCI가 0.92, 샌더 PCI가 0.73, 빠른 샌더 PCI가 0.99로 보행PCI와 빠른 샌더 PCI가 특히 상관성이 높았다.

에너지소모의 반복측정검사를 5명 아동과 4명의 성인을 대상으로 cosmed K4(Cosmed, Rome, Italy)를 이용하여 측정시 변화를 정밀하게 하는 능력을 PCI와 비교하여 성인과 아동에서 모두 PCI의

표준편차가 6 - 72%로 나타나 PCI의 타당도에 의문을 제기하기도 하였다(Boyd 등, 1999). 하지만 cosmed K4는 매우 고가이고 검사비용도 높아 일반 치료실이나 임상적으로 사용하는 것이 매우 어렵다. 대신에 심박수를 통한 에너지소모량의 평가는 쉽게 할 수 있고 임상에서 환자를 치료하는 작업치료사, 물리치료사에게는 환자의 평가에 적은 시간을 투자하여 보다 객관적인 평가를 할 수 있어 매우 유용하다고 할 수 있다. 보행에 따른 PCI의 평가와 더불어 뇌성마비이나 재활환자 중 보행이 어려운 환자들의 평가에 상지의 운동량을 통하여 환자의 에너지소모를 평가하고 운동량을 처방하고, 재검사를 통해 치료의 진전 정도를 평가하는데 활용이 가능하다.

샌더운동은 샌더속도와 샌더 운동전후 심박수 변화간에 선형적 관계를 보여 샌더 PCI로 에너지 소모를 예측할 수 있는 유용한 방법이며 특히 빠른 샌더 PCI는 편안한 샌더 PCI보다 낮아 보다 효율적인 에너지 소모 속도로 보이며 3개월 간격으로 한 검사 - 재검사에서 0.99의 매우 강한 상관성을 보여 신뢰성이 매우 높다고 하겠다.

본 연구의 제한점으로는 자원하는 아동 67명을 대상으로 하였기 때문에 정상아동 전체에 일반화하기 어렵고, 편안한 샌더와 빠른 샌더의 운동시 산소소모량과 같은 정확한 에너지 소모를 비교하는 검증과정이 없어 차후에 편안한 샌더와 빠른 샌더의 산소소모량을 구하여 심박수의 변화와 산소소모량과의 비교연구가 필요하다. 또한 4세에서 12세 아동만을 대상으로 하였기 때문에 앞으로 장애아동, 성인환자와 정상성인에서 더 연구가 필요하다.

V. 결 론

정상아동 67명(4세~12세)을 대상으로 편안한 샌더운동, 빠른 샌더운동을 통한 생리학적 소비지수(PCI)를 측정하고 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 편안한 샌더의 작업속도와 빠른 샌더의 작업속

도는 연령이 증가함에 따라 증가하였고, 편안한 샌더 PCI와 빠른 PCI는 연령의 증가에 따라 감소하였으며, 각 군간의 유의한 차이가 있었다($p=0.00$). 편안한 샌더와 빠른 샌더의 작업 전후 심박수 변화에는 유의한 차이는 없었다.

2. 샌더운동 전후의 심박수 변화는 샌더의 속도가 증가함에 따라 증가하였다. 샌더운동 전후에 따른 심박수의 변화와 샌더 이동속도의 단순회귀식은 ' $Y(\text{심박수의 변화}) = 0.332X(\text{샌더 이동속도}) + 12.731$ ' 이고 설명력을 나타내는 R^2 값은 0.154였다($p=0.00$). 단계적 다중회귀 분석을 한 결과 샌더 운동전후의 심박수 변화에 샌더속도는 양의 관계로 영향을 주고 연령은 음의 관계로 영향을 주는 것으로 나타났다. 이는 24.2%의 설명력을 지닌다.
3. 샌더 PCI는 샌더 속도가 증가함에 따라 감소하였다. 샌더 속도에 따른 샌더 PCI의 단순회귀식은 ' $Y(\text{샌더 PCI}) = -0.00495X(\text{샌더 이동속도}) + 2.091$ ' 이고 설명력을 나타내는 R^2 값은 0.267이었다($p=0.00$).
4. 샌더 속도는 대상자의 연령이 증가함에 따라 증가하였다. 연령에 따른 샌더 속도의 단순회귀식은 ' $Y(\text{샌더의 이동속도}) = 2.481X(\text{연령}) - 0.893$ ' 이고 설명력을 나타내는 R^2 값은 0.452였다($p=0.00$).
5. 각 PCI 검사방법에 대한 신뢰도 검사는 4명의 아동을 선택하여 3개월 간격으로 test-retest를 통하여 신뢰도 분석(reliability analysis)을 한 결과 alpha값이 0.9337로 신뢰도 계수가 매우 높았다.

결론적으로 상지의 낮은 운동강도인 샌더 운동을 스스로 선택한 편안한 속도와 빠른 속도로 시행하여 에너지 소모를 구하였다. 샌더 속도와 샌더 운동전후 심박수의 변화가 선형적인 관계를 보여 샌더

PCI로 운동량과 심기능과의 관계를 예측할 수 있으며 빠른 샌더 PCI가 편안한 샌더 PCI보다 효율적인 에너지 소모 속도임을 알 수 있었다. 샌더 PCI를 운동량으로 에너지 소모를 예측할 수 있는 보편적인 도구로 일반화시키기 위해서는 앞으로 산소소모비와의 비교 연구와 다양한 특성을 가진 연구대상에 대한 지속적인 연구가 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

- 김봉옥, 홍주형, 윤승호. 편마비환자에서 보행중 에너지 소모-Physiological Cost Index의 유용성. 재활의학회지. 1996;20:39-44.
- 김진호, 한태륜, 권용옥. 편마비 환자의 일상생활 동작 수행중 산소소모량에 대한 연구. 대한 재활의학회지. 1995;19:553-558.
- 박호준, 조상현, 이충휘 등. 등속성 에르고미터 운동을 이용한 수정된 생리적 부담지수와 산소소모량 변화량과의 상관성. 한국전문물리치료학회지. 2000;7:20-34.
- 윤승호, 변정현. 체위변화 및 운동강도에 따른 심폐기능의 변화. 충남의대잡지. 1994;21:361-368.
- 한태륜, 김진호, 방문석 등. 운동종류와 강도에 따른 운동지표에 대한 연구. 대한재활의학회지. 1994;18:256-262.
- Boyd R, Fatone S, Rodda J, et al. High- or low- technology measurements of energy expenditure in clinical gait analysis? Dev Med Child Neurol. 1999;41:676-682.
- Dahlback GO, Norlin R. The effect of corrective surgery on energy expenditure during ambulation in children with cerebral palsy. Eur J Appl Physiol. 1985;54:67-70.

- Harvey LA, Davis GM, Smith MB, et al. Energy expenditure during gait using the Walkabout and Isocentric Reciprocal Gait Orthosis in paraplegia. *Arch Phys Med Rehabil.* 1998;79:945-949.
- Magel, JR, Willam D, McArdle. Metabolic and cardiovascular adjustment to arm training. *J Appl Physiol.* 1978;45:75-79.
- McCardle WD, Magel JR, Lesmes GR, et al. Metabolic and cardiovascular adjustment to work in air and water at 18°, 25°, and 33°. *J Appl Physiol.* 1976;40:85.
- Nene AV, Evans GA, Patrick JH. Simultaneous multiple operations for spastic diplegia: outcome and functional assessment of walking in 18 patients. *J Bone Joint Surg BR.* 1993;75:488-494.
- Paulsen E, Asmussen E. Energy requirement of practical jobs from pulse increase and ergometer test. *Ergonomics.* 1963;5:33-36.
- Rose J, Medeiros JM, Parker R. Energy cost index as an estimate of energy expenditure of cerebral-palsied children during assisted ambulation. *Dev Med Child Neurol.* 1985; 27:485-490.
- Rose J, Gamble JG, Burgos A, et al. Energy cost of walking in normal children and in those cerebral palsy; comparison of heart rate and oxygen uptake. *J Pediatr Orthop.* 1989;9: 276-279.
- Rose J, Gamble JG, Burgos A, et al. Energy Expenditure Index of Walking normal Children and for children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 1990;32:333-340.
- Rose J, Gamble JG, Burgos A, et al. The energy expenditure index: a method to quantitate and compare walking energy expenditure for children and adolescents. *J Ped Orthop.* 1991;11: 571-578.
- Sawka MN, Michael E, Foley, Nancy A. Determination of maximal aerobic power during upper-body exercise. *J Appl Physiol.* 1983;54:113-117.
- Vokac Z, Bell H, Bautz-Holter E, et al. Oxygen uptake/heart rate relationship in leg and arm exercise, sitting and standing. *J Appl Physiol.* 1975;39: 54-59.
- Waters RL, Hislop HJ, Thomas L, et al. Energy cost of walking in normal children and teenagers. *Dev Med Child Neurol.* 1983;25:184-188.
- Waters RL, Lunsford BR, Perry J, et al. Energy-speed relationship of walking: standard tables. *J Orthop Res.* 1988; 6:215-222.